



Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 24.01.78 (21) 2574132/18-25

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 05.03.80. Бюллетень № 9

Дата опубликования описания 05.03.80

(11) 687921

(51) М. Кл.<sup>2</sup>

G 01 N 21/26

(53) УДК 543.4  
(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

В.И. Лобан и В.А. Цветков

(71) Заявитель

Ленинградский ордена Ленина политехнический  
институт имени М.И. Калинина

(54) ГАЗОАНАЛИЗАТОР С ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНЫМ  
ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ

1

Изобретение относится к области оптического анализа газовых смесей, основанного на поглощении электромагнитного излучения определенным компонентом, и может быть использовано в газоанализаторах, преимущественно многокомпонентных, находящихся в автономном длительном бесподстроечном режиме работы.

Известен газоанализатор для определения двуокиси углерода [1]. Он состоит из двух источников инфракрасной радиации с интерференционными фильтрами, фокусирующей системы, кюветы с анализируемой газовой смесью и двух приемников излучения со схемой выделения и обработки сигналов, включающей усилители, детекторы и регулируемые источники питания. Источники излучения совместно с интерференционными фильтрами излучают попеременно на рабочей длине волны, соответствующей максимуму поглощения двуокиси углерода, и эталонной длине волны, где поглощение исследуемым газом отсутствует. Кювета состоит из двух отсеков, герметичной эталонной и рабочей, через которую прокачивается анализируемая газовая смесь.

Переменные сигналы с приемников излучения усиливаются и преобразуются с помощью синхронных детекторов в постоянные напряжения, одно из которых используется для измерения концентрации двуокиси углерода, а второе - для компенсации ухода излучательных характеристик источников излучения.

К недостаткам указанной схемы следует отнести необходимость применения герметичной эталонной кюветы со сложной фокусирующей системой и двух приемников излучения, которые могут в процессе эксплуатации менять свои характеристики друг относительно друга, что приводит к увеличению погрешности измерения.

Для устранения этих недостатков в газоанализаторах охватывают обратной следящей связью весь тракт выделения сигнала, включая элементы оптики и источник излучения. Так, в известном газоанализаторе [2] используется источник излучения, состоящий из двух электронно-модулируемых высокой частотой излучающих элементов, изготовленных из одного материала на единой подложке. Источ-

ник излучает поочередно на рабочей и эталонной длинах волн. Поток излучения проходит кювету с исследуемым поглощающим газом и попадает на приемник излучения, причем поток излучения эталонной длины волны проходит кювету без поглощения его газовым компонентом анализируемой газовой смеси, а излучение рабочей длины поглощается углекислым газом. Мощность инфракрасного потока радиации, поступающего на приемник, пропорциональна пропусканию углекислого газа в анализируемой смеси при излучении рабочего элемента. Сигналы, снимаемые с приемника, усиливаются малощумящим предусилителем и усилителем, а затем разделяются на рабочий и эталонный сигналы схемой переключения, включающей транзисторные ключи и схему запоминания нулевого уровня, а затем поступают на синхронные детекторы, где происходит преобразование переменных сигналов в постоянные напряжения. Преобразование этих напряжений в выходной сигнал, пропорциональный концентрации углекислого газа, осуществляется схемой преобразования, в которой из эталонного напряжения вычитается напряжение рабочего канала и осуществляется коррекция. Напряжение с синхронного детектора эталонного канала изменяет питающее напряжение светодиодов таким образом, чтобы поддерживать постоянным напряжение на выходе синхронного детектора эталонного канала.

Недостатком такого газоанализатора является довольно сложная схема выделения сигнала, включающая исключительно узлы аналогового преобразования, от большинства из которых требуется высокая точность преобразования. Отрицательная обратная связь по эталонному сигналу, изменяющая питающее напряжение на источнике радиации, с одной стороны, имеет глубину, ограничиваемую условиями устойчивости, с другой стороны, компенсирует изменения параметров только оптической, а также той части электронной схемы, которая является общей для рабочего и эталонного каналов.

Кроме того в известных газоанализаторах, как правило, выходным сигналом электронной схемы является аналоговый сигнал (чаще напряжение), что вызывает необходимость использования еще отдельного отсчетного устройства, погрешность которого значительно снижает общую точность газоанализатора и требует существенных дополнительных аппаратных затрат.

Известен газоанализатор с время-импульсным выходным сигналом — прототип, содержащий источник излучения с двумя излучателями, коммутатор, кювету с анализируемой газовой

смесью, приемник излучения и схему выделения сигнала, включающую три сравнивающих устройства, устройство формирования и интегратор, причем выходы сравнивающих устройств подключены ко входам устройства формирования, последнее через коммутатор связано с двумя излучателями, вход интегратора соединен с выходом приемника излучения, а выход интегратора подключен к входам сравнивающих устройств [3].

Сигнал с выхода приемника излучения поступает непосредственно на интегратор, что позволяет снизить влияние шума во входном сигнале. Работа схемы выделения осуществляется в два такта. В первом такте интегрирования излучает рабочий светодиод, и на выходе интегратора напряжение линейно возрастает пропорционально интенсивности источника, пропусканию оптического тракта (с учетом поглощения измеряемым компонентом) и чувствительности приемника. По достижении выходным напряжением интегратора определенного уровня срабатывает первое сравнивающее устройство и начинается второй такт, заключающийся в том, что вместо рабочего светодиода включается эталонный. При этом напряжение продолжает расти, но с большим наклоном, который пропорционален интенсивности эталонного светодиода и чувствительности приемника. Напряжение на выходе интегратора линейно возрастает до достижения им следующего уровня, что приводит к срабатыванию сравнивающего устройства, и заканчивается второй цикл измерения, а электронная схема выделения сигнала возвращается в исходное состояние. Отношение длительностей первого  $t_1$  и второго  $t_2$  тактов равно

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{I'_0}{I''_0} e^{\varepsilon c L},$$

где  $R_2, R_3$  — сопротивления, устанавливающие уровень срабатывания устройств;

$I'_0, I''_0$  — начальные интенсивности светодиодов, эталонного и рабочего соответственно;

$\varepsilon$  — коэффициент поглощения;

$L$  — длина оптического пути поглощения.

Как следует из приведенного выражения, выходной сигнал  $t_1/t_2$  нелинейно связан с концентрацией ( $c$ ) измеряемого компонента. Поэтому основным недостатком такого газоанализатора является весьма узкий диапазон измеряемых концентраций, где соблюдается линейная зависимость выходного относительного интервала времени ( $t_1/t_2$ ) от

измеряемой концентрации (с). Так, при допустимой погрешности линейности 0,1% оптическая плотность ( $\epsilon cL$ ) не должна превышать величины  $\epsilon cL \leq 0,002$ . Включение с целью линеаризации статической характеристики газоанализатора логарифмических преобразователей, основным элементом которых являются операционные усилители, существенно снижает точность измерения за счет наличия значительного температурного и временного дрейфа нуля операционных усилителей, что недопустимо для автоматических газоанализаторов, находящихся в автономных условиях, исключающих частую коррекцию их параметров, например в труднодоступных местах, кроме того эти устройства имеют неустраняемую погрешность несоответствия выходной характеристики газоанализатора "идеальному" логарифму, которая, например, для модуля 755 составляет погрешность, приведенную ко входу 0,5% (Справочник по нелинейным схемам, М., 1977, с. 441).

Важно также отметить, что при отклонении закона поглощения от экспоненциального, имеющего место в действительности, применение логарифмических преобразователей не позволяет получить высокую линейность статической характеристики.

Целью изобретения является повышение линейности статической характеристики газоанализатора с время-импульсным выходным сигналом.

Указанная цель достигается тем, что известный газоанализатор снабжен делителем тока, полупрозрачным зеркалом, установленным в кювете с анализируемой газовой смесью, дополнительным приемником излучения и дифференциальным интегратором, один из входов которого через ключ, связанный с устройством формирования, соединен с основным приемником излучения, а к второму входу интегратора подключен дополнительный приемник излучения, вход дополнительного приемника излучения потоком излучения связан с полупрозрачным зеркалом, а выходы делителя тока через коммутатор связаны с источником излучения.

На чертеже показана структурная схема газоанализатора с время-импульсным выходным сигналом.

Газоанализатор включает источник инфракрасной радиации 1, состоящий из двух излучателей — светодиодов, выполненных конструктивно в едином корпусе, кювету 2 с анализируемой газовой смесью, полупрозрачное зеркало 3, установленное внутри кюветы на заданном расстоянии от источника излучения 1, два приемника излучения, основной 4 и дополнительный 5, дифференциальный интегратор

6 с ключом 7 на входе, который связан с основным приемником 4, три сравнивающих устройства 8, входы которых подключены к выходу интегратора 6, устройство формирования 9, один из выходов которого связан с коммутатором 10, установленным на входе источника излучения 1, и делитель тока 11.

В исходном состоянии излучение от источника 1 отсутствует, так как общая цепь от источника питания разорвана ( $I_{min} = 0$ ), ключ 7 замкнут на землю, а выходные напряжения интегратора 6 и устройства формирования 9 равны нулю (ключи установки исходного состояния на чертеже не показаны).

Измерение концентрации осуществляется в два такта по методу двухтактного интегрирования, аналогично прототипу. В первом такте интегрирования в момент  $t_1$  подачи импульса "пуск" от блока управления (на чертеже не показан) рабочий и эталонный светодиоды поочередно подключаются через коммутатор 10 и делитель тока 11 к источнику питания, причем ток питания эталонного светодиода вдвое превышает ток питания рабочего светодиода. Напряжение на выходе интегратора 6 начинает линейно расти пропорционально напряжению  $\Delta U_1$ , снимаемому с дополнительного приемника излучения 5, в соответствии с выражением

$$U_{ин} = \frac{1}{R_2 C_2} \int_{t_1}^{t_2} \Delta U_1 dt = \frac{1}{R_2 C_2} \int_{t_1}^{t_2} (2U_{эм} - U_{р_2}) dt,$$

где  $R_2 C_2$  — постоянная интегрирования по входу интегратора 6, связанному с дополнительным приемником излучения.

По достижении им уровня  $U_1$  в момент  $t_2$  срабатывает первое сравнивающее устройство 8, аналогичное прототипу, и устройством 9 начинается формирование измерительного интервала  $t_1$ . Напряжение  $U_{ин}$  в момент  $t_2$  равно

$$U_1 = \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^{t_2-t_1} \Delta U_1 dt$$

По достижении уровня  $U_2$  в момент  $t_2$  срабатывает второе сравнивающее устройство 8, устройством 9 заканчивается формирование измерительного интервала  $t_1$  и начинается формирование измерительного интервала  $t_2$ , а также осуществляется подключение основного приемника 4 через замкнутый в момент  $t_3$  ключ 7 к интегратору 6 и переключение коммутатора 10 так, что во втором такте излучают одновременно эталонный и рабочий светодиоды, причем через эталонный светодиод задается дели-

теlem 11 в два раза больший ток, чем через рабочий. Напряжение  $U_{ин}$  в момент  $\tau_3$  равно

$$U_2 = U_1 + \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^{\tau_3} (2U_{3T} - U_{P_2}) dt$$

С момента  $\tau_3$  начинается второй цикл измерения. Напряжение на выходе интегратора 6 во втором такте продолжает линейно нарастать в соответствии с выражением

$$U_{ин} = U_2 + \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^{\tau_3} (2U_{3T} + U_{P_2}) dt - \frac{1}{R_1 C_1} \int_0^{\tau_3} (2U_{3T} + U_{P_1}) dt$$

По достижении уровня  $U_3$  в момент  $\tau_4$  срабатывает третье сравнивающее устройство 8 и устройством 9 заканчивается формирование измерительного интервала. В момент  $\tau_4$  устройство управления разрывает ключ 7, обнуляет интегратор 6 и возвращает коммутатор 10 в исходное положение. На этом заканчивается цикл измерения.

Опорные напряжения  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  сравнивающих устройств 8, аналогично прототипу, задаются блоком опорных напряжений посредством резистивного делителя  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . Таким образом

$$\frac{U_2 - U_1}{U_3 - U_2} = \frac{R_2}{R_3} = K$$

Коэффициент  $K = R_2/R_3$  не зависит от изменений источника напряжения и остается постоянным при действии дестабилизирующих факторов, которые в одинаковой мере будут влиять на эти сопротивления. С другой стороны, справедливы равенства:

$$U_2 - U_1 = \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^{\tau_1} (2U_{3T} - U_{P_2}) dt = \frac{2U_{3T} - U_{P_2}}{R_2 C_2} \tau_1$$

$$U_2 - U_1 = \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^{\tau_2} \frac{2U_{3T} + U_{P_2}}{1} dt - \frac{1}{R_1 C_1} \int_0^{\tau_2} (2U_{3T} + U_{P_1}) dt =$$

$$= \left[ \frac{2U_{3T} + U_{P_2}}{R_2 C_2} - \frac{2U_{3T} + U_{P_1}}{R_1 C_1} \right] \tau_2$$

Выбирая получим

$$\frac{1}{R_2 C_2} = 3; \quad \frac{1}{R_1 C_1} = 1,$$

$$K = \frac{3(2U_{3T} - U_{P_2}) \cdot \tau_1}{[3(2U_{3T} + U_{P_2}) - (2U_{3T} + U_{P_1})] \cdot \tau_2}$$

С другой стороны, входные напряжения интегратора 6 функционально свя-

заны с концентрацией ( $c$ ) анализируемого компонента следующими соотношениями:

$$5 \quad \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{3}{K} \cdot \frac{2U_{3T} - U_{P_2} \cdot e^{-\epsilon c l}}{3(2U_{3T} + U_{P_2} \cdot e^{-\epsilon c l}) - (2U_{3T} + U_{P_1} \cdot e^{-3\epsilon c l})} =$$

$$10 \quad = \frac{3}{K} \cdot \frac{2 - e^{-\epsilon c l}}{3(2 + e^{-\epsilon c l}) - (2 + e^{-3\epsilon c l})} = \frac{3}{K} \cdot \frac{2 - e^{-\epsilon c l}}{4 + 3e^{-\epsilon c l} - e^{-3\epsilon c l}}$$

где  $\epsilon$  — коэффициент поглощения анализируемого газа;

15  $l$  и  $3l$  — расстояния от источника излучения 1 до дополнительного приемника излучения 5 и основного приемника 6 соответственно.

20 При таком соотношении расстояний приемников излучения до источника и выбранных постоянных интегрирования отношения измерительных интервалов не включают квадратичных и кубических членов разложения в ряд выходной характеристики газоанализатора

$$30 \quad \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{3}{K} \cdot \frac{2U_{3T} - U_{P_2} \cdot e^{-\epsilon c l}}{3(2U_{3T} + U_{P_2} \cdot e^{-\epsilon c l}) - (2U_{3T} + U_{P_1} \cdot e^{-3\epsilon c l})} =$$

$$35 \quad = \frac{3}{K} \cdot \frac{2 - e^{-\epsilon c l}}{3(2 + e^{-\epsilon c l}) - (2 + e^{-3\epsilon c l})} = \frac{3}{K} \cdot \frac{2 - e^{-\epsilon c l}}{4 + 3e^{-\epsilon c l} - e^{-3\epsilon c l}}$$

40 Используя разложение экспоненциальной зависимости в ряд Маклорена и ограничиваясь членом разложения 4-й степени относительно переменной  $\epsilon c l$ , получают

$$45 \quad \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{3}{K} \cdot \frac{2 - e^{-\epsilon c l}}{4 + [3 - 3(\epsilon c l) + \frac{3}{2}(\epsilon c l)^2 - \frac{3}{6}(\epsilon c l)^3 + \frac{3}{24}(\epsilon c l)^4] - [1 - 3\epsilon c l +$$

$$50 \quad + \frac{1}{2}(\epsilon c l)^2 - \frac{27}{6}(\epsilon c l)^3 + \frac{81}{24}(\epsilon c l)^4] = \frac{3}{K} \cdot \frac{2 - e^{-\epsilon c l}}{6 - 3(\epsilon c l)^2 + 4(\epsilon c l)^2 - \frac{13}{24}(\epsilon c l)^4 + \dots}$$

55 Далее, осуществляя деление многочлена на многочлен, получают

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{3}{K} (2e^{-\epsilon c l})^{\frac{1}{6}} \frac{1}{1 - \frac{1}{2}(\epsilon c l)^2 + \frac{2}{3}(\epsilon c l)^3 - \frac{13}{24}(\epsilon c l)^4 + \dots}$$

$$60 \quad \frac{1}{2K} (1 + \epsilon c l + \dots) \frac{1}{1 - \frac{1}{2}(\epsilon c l)^2 + \frac{2}{3}(\epsilon c l)^3 - \frac{13}{24}(\epsilon c l)^4 + \dots}$$

Учитывая, что в знаменателе

$$65 \quad \left[ -\frac{1}{2}(\epsilon c l)^2 + \frac{2}{3}(\epsilon c l)^3 - \frac{13}{24}(\epsilon c l)^4 + \dots \right] < 1,$$

разлагают второй множитель в ряд, ограничиваясь членом 4-й степени разложения, при этом после умножения многочлена на многочлен получают окончательно следующее выражение:

$$\frac{t_2}{t_1} = K \left[ \frac{1}{3} + \frac{1}{3}(\epsilon\epsilon\epsilon) - \frac{2}{9}(\epsilon\epsilon\epsilon)^2 + \dots \right],$$

где

$$K' = \frac{1}{2K}$$

Как следует из приведенного выражения выходной сигнал  $t_2/t_1$  не содержит квадратичного и кубического членов разложения. Нелинейность в этом случае определяется слагаемым четвертой степени, при этом погрешность нелинейности при отбрасывании члена пятой степени равна

$$\gamma_A = \frac{2}{3}(\epsilon\epsilon\epsilon)^3.$$

Выражение для погрешности линейности показывает, что при заданной погрешности нелинейности  $\gamma_A = 0,1\%$  приведенный диапазон измерения  $\epsilon\epsilon\epsilon \approx 0,1$ , что в 50 раз больше, чем при отсутствии линеаризации (при экспоненциальной зависимости поглощения).

Применение мультипликативного алгоритма для линеаризации статической характеристики газоанализатора значительно эффективней, чем использование известных логарифмических устройств, и позволяет существенно снизить аддитивную и мультипликативную составляющие погрешности газоанализатора, что особенно важно при одновременном режиме бесподстроечной работы.

Следует отметить, что процесс линеаризации может быть осуществлен и при отклонении закона поглощения от экспоненциального (что имеет место на практике) изменением коэффициентов передачи делителя тока и постоянных интегрирования  $R_1 C_1$  и  $R_2 C_2$  интегратора 6.

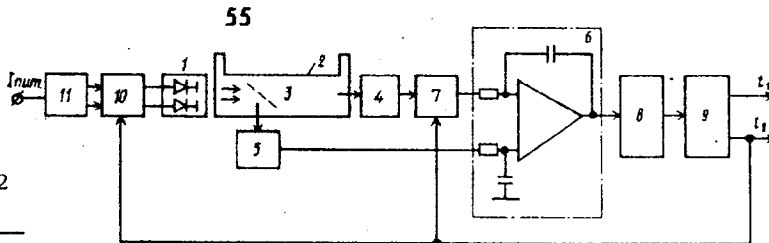
Линеаризация статической характеристики газоанализатора с исключением квадратичного и кубического членов разложения в ряд обеспечило повышение линейности преобразования в указанном диапазоне измерения с  $\gamma_A = 45\%$  до  $\gamma_A \approx 1\%$ . При заданной пог-

решности линейности газоанализатор позволяет существенно расширить диапазон измеряемых концентраций, что даст возможность использовать в информационно-измерительных системах с большим числом измеряемых компонент в сложной газовой смеси, обеспечивая возможность суммирования сигналов отдельных каналов непосредственно на выходе датчиков в информационно-измерительных системах и тем самым разгружая память универсальной вычислительной машины.

#### Формула изобретения

- 15 Газоанализатор с время-импульсным выходным сигналом, содержащий источник излучения с двумя излучателями, коммутатор, кювету с анализируемой газовой смесью, приемник излучения, интегратор и схему выделения сигнала, включающую три сравнивающих устройства; устройство формирования и интегратор, причем выходы сравнивающих устройств подключены к входам устройства формирования, которое через коммутатор связано с двумя излучателями, вход интегратора соединен с выходом приемника излучения, а выход интегратора подключен к входам сравнивающих устройств, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью
- 20 повышения линейности статической характеристики, он снабжен делителем тока, полупрозрачным зеркалом, установленным в кювете с анализируемой газовой смесью, дополнительным приемником излучения и дифференциальным интегратором, один из входов которого через ключ, связанный с устройством формирования, соединен с основным приемником излучения, а к
- 25 второму входу интегратора подключен дополнительный приемник излучения и вход дополнительного приемника излучения потоком излучения связан с полупрозрачным зеркалом, а выходы делителя тока через коммутатор связаны с источником излучения.

- Источники информации, принятые во внимание при экспертизе
1. Патент США № 3614431,
  - 50 G 01 N 21/26, 1971.
  2. Авторское свидетельство СССР № 569916, кл. G 01 N 21/26, 1974.
  3. Авторское свидетельство СССР № 2350319/18-25, G 01 N 21/34, 1977.



ЦИИПИ Заказ 10280/52  
Тираж 1019 Подписное

Филиал ИПП 'Патент',  
г. Ужгород, ул. Проектная, 4